

论著·临床研究 doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2018.28.006

## 比较研究单源序列采集双能 CT 结肠成像容积和螺旋扫描模式\*

梁丹<sup>1,3</sup>, 阿布都克尤木江·阿布力孜<sup>2#</sup>, 刘志飞<sup>2#</sup>,孔德灿<sup>3</sup>, 李文儒<sup>3</sup>, 朱冬云<sup>3</sup>, 戎军艳<sup>4</sup>, 张曦<sup>4</sup>, Wenli Cai<sup>5</sup>, 罗明月<sup>3△</sup>

(1. 广东省广州市第一人民医院放射科 510180; 2. 新疆维吾尔自治区喀什地区第一人民医院医学影像科 844000; 3. 中山大学附属第六医院放射科, 广州 510655; 4. 中国人民解放军第四军医大学生物医学工程系, 西安 710032; 5. 哈佛大学医学院麻州总医院放射科, 麻州波士顿 02114)

**[摘要]** **目的** 比较单源序列采集双能 CT 结肠成像容积和螺旋扫描模式的扫描时间、辐射剂量和运动校正算法体配准后结直肠双能融合图像质量。**方法** 未影响胃肠道运动功能病史的志愿者 46 例, 接受 Aquilion ONE 320 排 CT 机容积和螺旋扫描。容积扫描: wide-volume, 层厚 0.5 mm, 球管电压 135 kVp/80 kVp, 球管电流自适应球管电压变化。螺旋扫描: 螺距因子/螺距=0.085/6.8, 层厚 0.5 mm×80.0 mm, 球管电压 135 kVp/80 kVp, 球管电流 10 mA/60 mA。2 位放射科医生盲法评价 2 种模式运动校正算法体配准前、后结直肠双能融合图像质量, 以一致性意见为评价结果。分析 2 种模式扫描时间和有效辐射剂量, 分析 2 种模式运动校正算法体配准后结直肠双能融合图像质量。**结果** 容积、螺旋模式扫描时间分别为(12.31±2.32)s、(39.55±3.08)s, 差异有统计学意义( $t=47.9124, P<0.01$ ); 有效辐射剂量分别为(4.14±1.51)mSv、(4.71±0.91)mSv, 差异有统计学意义( $t=2.1930, P<0.05$ ); 运动校正算法体配准后结直肠双能融合图像质量 1 级分别为 96.7%、62.6%, 差异有统计学意义( $U=8.9786, P<0.01$ )。**结论** 单源序列采集双能 CT 结肠成像容积扫描模式扫描时间较短、辐射剂量较低、运动校正算法体配准后结直肠双能融合图像质量较好。

**[关键词]** 单源 CT 序列采集; 双能 CT 结肠成像; 扫描模式; 图像质量; 辐射剂量**[中图分类号]** R816.5 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2018)28-3625-04

## Comparative study on volume and helical scan mode of single-source dual-energy CT colonography with sequential acquisitions\*

LIANG Dan<sup>1,3</sup>, ABDON KEYOUMU JEAN · Abliz<sup>2#</sup>, LIU Zhifei<sup>2#</sup>, KONG Decan<sup>3</sup>,LI Wenru<sup>3</sup>, ZHU Dongyun<sup>3</sup>, RONG Junyan<sup>4</sup>, ZHANG Xi<sup>4</sup>, Wenli CAI<sup>5</sup>, LUO Mingyue<sup>3△</sup>

(1. Department of Radiology, the First People's Hospital of Guangzhou City, Guangzhou, Guangdong 510180, China; 2. Department of Medical Imaging, First People's Hospital of Kashgar, Kashgar, Xinjiang 844000, China; 3. Department of Radiology, the Sixth Affiliated Hospital, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510655, China; 4. Department of Biomedical Engineering, Fourth Military Medical University of PLA, Xi'an, Sanxi 710032, China; 5. Department of Radiology, Massachusetts General Hospital of Harvard Medical School, Massachusetts, Boston 02114, United States)

**[Abstract]** **Objective** To compare the scanning time, radiation dosage, and image quality of dual-energy fusion images after body registration based on motion correction algorithm of volume and helical scan mode of single-source dual-energy CT colonography with sequential acquisitions. **Methods** There were 46 volunteers without history of conditions affecting gastrointestinal motor function in the study. Volume and helical mode scanning were performed with an Aquilion ONE 320 row CT scanner. Volume scan mode: wide-volume, slice thickness was 0.5 mm, tube voltage was 135 kVp/80 kVp, automatic tube current adjustment. Helical scan mode: pitch factor/helical pitch=0.085/6.8, slice thickness was 0.5 mm×80.0 mm, tube voltage 135 kVp/80 kVp, tube current 10 mA/60 mA. Two radiologists evaluated the quality of dual-energy fusion colorectal images with 2 scan modes before and after body registrations based on motion correction algorithm using blindness method, and their consensus was used as the evaluation results.

\* 基金项目: 新疆维吾尔自治区自然科学基金项目(2017D01C013)。 作者简介: 梁丹(1989-), 住院医师, 硕士, 主要从事医学影像新技术研究。# 共同第一作者: 阿布都克尤木江·阿布力孜(1983-), 主治医师, 本科, 从事医学影像新技术研究。# 共同第一作者: 刘志飞(1980-), 主治医师, 本科, 主要从事医学影像新技术研究。△ 通信作者, E-mail: myluo720@163.com。

Scanning time and radiation dosage were analyzed, quality of dual-energy fusion colorectal images with 2 scan modes after body registration based on motion correction algorithm was analyzed. **Results** For volume and helical scanning modes, their scanning time were  $(12.31 \pm 2.32)$ s,  $(39.55 \pm 3.08)$ s, respectively, and the difference was statistical significant ( $t=47.9124$ ,  $P<0.01$ ); their effective radiation dosage were  $(4.14 \pm 1.51)$ mSv,  $(4.71 \pm 0.91)$ mSv, respectively, and the difference was statistical significant ( $t=2.1930$ ,  $P<0.05$ ); the level 1 of quality of dual-energy fusion colorectal images with 2 scan modes after body registration based on motion correction algorithm were 96.7%, 62.6%, respectively, and the difference was significant statistical significance ( $U=8.9786$ ,  $P<0.01$ ). **Conclusion** Volume scan mode of single-source dual-energy CT colonography with sequential acquisitions has shorter scanning time, lower radiation dosage, and better image quality after body registration based on motion correction algorithm.

**[Key words]** single-source CT with sequential acquisitions; dual-energy CT colonography; scan mode; image quality; radiation dosage

双能 CT 包括单源瞬时管电压切换型<sup>[1-3]</sup>、单源序列采集型<sup>[4-5]</sup>、单源双光束型<sup>[6]</sup>和双源型<sup>[7-8]</sup>, 它们各有优缺点。单源序列采集双能 CT 既有设备上容易实现、避免了高低能量之间的能谱重叠的优点<sup>[9]</sup>, 也有相对较长的扫描时间及其可能导致的结直肠双能融合图像质量和较高的辐射剂量的缺点<sup>[3]</sup>。

双能 CT 结肠成像很有希望成为结直肠癌的筛查新技术<sup>[10-11]</sup>, 虽然单源序列采集双能 CT 能够进行容积和螺旋 2 种模式扫描, 但是国内外迄今较少见这 2 种扫描模式双能 CT 结肠成像的比较研究报道。因此, 本文将针对上述 3 个可能的缺点, 比较研究单源序列采集双能 CT 结肠成像 2 种扫描模式的扫描时间、辐射剂量和运动校正算法体配准后的结直肠双能融合图像质量。

## 1 资料与方法

**1.1 一般资料** 纳入无影响胃肠道运动功能病史的志愿者 46 例, 其中男 21 例、女 25 例, 年龄  $(57.70 \pm 11.87)$  岁。排除标准: 影响胃肠道运动功能的病史者, 肝和/或肾功能不全者, 甲状腺功能亢进者, 活动性肺结核者, 多发性骨髓瘤者, 对碘过敏者, 孕妇。研究方案得到本院医学伦理委员会批准, 所有志愿者均知情同意本研究。

**1.2 结直肠内容物标记和注气扩张** CT 检查前 1 d 志愿者低残渣饮食, 早、中、晚餐后和睡觉前分别口服 4.0% 泛影葡胺(湖南汉森制药有限公司) 60 mL 标记肠内容物, 餐后喝水 200 mL, 全天喝水 2 000 mL。检查当天早餐后口服 4.0% 泛影葡胺 60 mL 标记肠内容物, 喝水 200 mL。使用 JS-628F 灌肠机(广州今健科技有限公司)经导管部分自动向结直肠灌注空气, 使其充分扩张。

**1.3 双能 CT 结肠成像扫描和图像后处理** 采用 Aquilion ONE 320 排 CT 机(Toshiba Medical System, Tochiki-ken, 日本), 志愿者仰卧位, 扫描时身体保持不动且屏住呼吸。容积扫描: wide-volume, 层厚 0.5 mm, 球管电压 135 kVp/80 kVp, 球管电流自适应球管电压的变化(sure exposure 3D low dose), 球管旋转一周的时

间 0.35 s, AIDR3D STD 重建算法。螺旋扫描: 螺距因子/螺距=0.085/6.8, 层厚 0.5 mm×80.0 mm, 球管电压 135 kVp/80 kVp, 对应的球管电流为 10 mA/60 mA, 其他参数同容积扫描模式。在图像后处理工作站(Vitrea, Toshiba Medical System, Tochiki-ken, 日本)分别对 2 种扫描模式的 135 kVp/80 kVp 图像数据进行运动校正算法体配准, 获得运动校正算法体配准后的 135 kVp/80 kVp 图像。再对运动校正算法体配准前、后的 135 kVp/80 kVp 图像进行线性融合, 得到运动校正算法体配准前、后的结直肠双能融合图像。

**1.4 记录项目** 记录每例志愿者 2 种扫描模式的扫描时间。容积 CT 剂量指数、剂量长度乘积。辐射剂量以有效辐射剂量表示, 有效辐射剂量=剂量长度乘积×CF, 式中 CF 为不同部位的有效辐射剂量转化系数, 腹部的 CF 为 0.015<sup>[12]</sup>。

**1.5 评价运动校正算法体配准前后的结直肠双能融合图像质量** 结直肠按照解剖部位分为盲肠、升结肠、横结肠、降结肠、乙状结肠及直肠共 6 段。2 位富有经验的放射科医生采用盲法分别评价运动校正算法体配准前后的结直肠双能融合图像质量。如果 2 位的评价有分歧, 则与另 1 位更富经验的放射科医生讨论后达成一致意见。图像质量分为 4 个等级: 1 级, 图像质量好, 无伪影, 结直肠清晰; 2 级, 图像质量一般, 轻度伪影, 肠段局限性伪影, 并且伪影的总层面数目小于 5 个; 3 级, 图像质量差, 中度伪影, 伪影的范围小于或等于 1/2 肠段面积; 4 级, 图像质量很差, 重度伪影, 伪影的范围大于 1/2 肠段面积。

**1.7 统计学处理** 采用 SPSS20.0 软件进行数据统计及分析。采用配对  $t$  检验, 统计分析 2 种扫描模式的扫描时间、辐射剂量; 采用两样本率比较的  $U$  检验, 统计分析 2 种扫描模式运动校正算法体配准后的结直肠双能融合图像质量; 以  $P<0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 扫描时间** 容积和螺旋扫描模式的扫描时间分别为  $(12.31 \pm 2.32)$ 、 $(39.55 \pm 3.08)$ s, 两者比较差异有统

计学意义( $t=47.9124, P<0.01$ )。

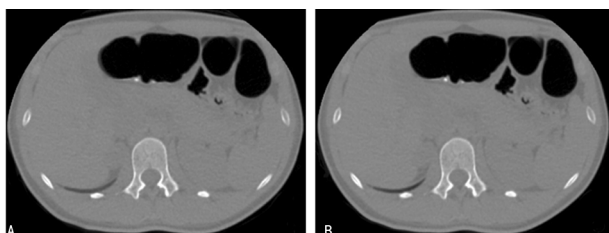
**2.2 辐射剂量** 2 种扫描模式的有效辐射剂量分别为(4.14±1.51)、(4.71±0.91)mSv,两者比较差异有统计学意义( $t=2.1930, P<0.05$ )。

**表 1 容积扫描模式运动校正算法体配准后的结直肠融合图像质量(n)**

等级	盲肠	升结肠	横结肠	降结肠	乙状结肠	直肠	合计[n(%)]
1 级	46	45	43	44	43	46	267(96.7)
2 级	0	1	3	2	3	0	9(3.3)
3 级	0	0	0	0	0	0	0
4 级	0	0	0	0	0	0	0

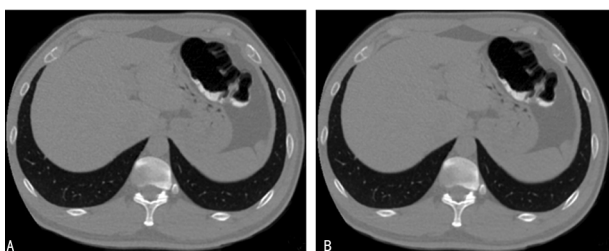
**表 2 螺旋扫描模式运动校正算法体配准后的结直肠融合图像质量(n)**

等级	盲肠	升结肠	横结肠	降结肠	乙状结肠	直肠	合计[n(%)]
1 级	38	31	19	20	24	41	173(62.6)
2 级	2	2	4	10	4	3	25(9.1)
3 级	5	9	18	11	13	1	57(20.7)
4 级	1	4	5	5	5	1	21(7.6)



A:运动校正算法体配准前横结肠双能量融合图像质量 2 级,图像质量一般,轻度、局限性伪影;B:运动校正算法体配准后横结肠双能量融合图像质量 1 级,图像质量良好,无伪影,结直肠清晰

**图 1 运动校正算法体配准对容积扫描模式的数据有效**



A:运动校正算法体配准前横结肠双能量融合图像;B:运动校正算法体配准后横结肠双能量融合图像。图像质量均为 3 级,质量差,中度伪影

**图 2 运动校正算法体配准对螺旋扫描模式的数据无效**

**2.3 运动校正算法体配准后的结直肠双能融合图像质量** 2 种扫描模式运动校正算法体配准后的结直肠双能融合图像质量分别见表 1、2。2 种扫描模式运动校正算法体配准后的结直肠双能融合图像质量 1 级分别为 96.7%、62.6%,两者比较差异有统计学意义( $U=9.9590, P<0.01$ )。运动校正算法体配准对容积扫描模式的数据有效(图 1),对螺旋扫描模式的数

据无效,见图 2。

**3 讨 论**

单源序列采集双能 CT 在具有优点的同时,不足之处是相对较长的扫描时间、可能引起的双能融合图像质量容易受被检查器官运动影响、较高的辐射剂量<sup>[3,9]</sup>。双能 CT 结肠成像的扫描范围大,包括整个结直肠区域,上起自膈肌顶部,下止于耻骨联合下缘,因为结直肠运动的影响,对扫描时间的要求更高。本文是国内外较早比较单源序列采集双能 CT 结肠成像的容积和螺旋扫描模式的试验研究,发现容积扫描模式的扫描时间只有(12.31±2.32)s,有效辐射剂量为(4.14±1.51)mSv,运动校正算法体配准后的结直肠双能融合图像质量 1 级达 96.7%。

运动校正算法体配准是在层(slice)配准的基础上进行的体(volume)配准,容积扫描模式的扫描时间短、速度快,螺旋扫描模式的扫描时间长、速度慢。因此运动校正算法体配准对容积扫描模式的数据有效,对螺旋扫描模式的数据无效。本研究容积和螺旋扫描模式运动校正算法体配准后的结直肠双能融合图像质量 1 级分别为 96.7%、62.6%,两者比较差异有统计学意义( $U=9.9590, P<0.01$ )。

以常规 CT 为对照标准,利用配准算法校正高、低能量序列图像数据之间潜在的运动影响后,Acquilion ONE 单源序列采集容积扫描双能 CT 检测痛风性关节炎尿酸沉积的灵敏度和特异度均较高<sup>[13]</sup>;以关节吸引术为标准,它可能替代双源双能 CT 诊断急性痛风性关节炎<sup>[14]</sup>;晶体性关节病的试验模型研究还提示,它可以检测并表征出现在软组织中的相对低浓度晶体沉积物,但是还需要临床病例研究进一步验证其诊断晶体性关节病和监测疗效的益处,及其与双源双能 CT 比较的差异<sup>[15]</sup>。此外,它对骨髓水肿的评价较 MRI 不容易受金属伪影的影响,可以改善融合椎体附近椎体骨髓水肿的显示<sup>[16]</sup>;以 1.5T 的 MRI 为标准,它可以有效显示骨髓水肿,检测椎体压缩性骨折有相当好的灵敏度和特异度,但是图像质量还需要进一步研究改善<sup>[17]</sup>。

采用 Siemens Healthcare 单源序列采集双能 CT 实验研究 35 枚尿路结石的结果提示,经过运动校正算法体配准 140 kVp/80 kVp 图像后,它能够准确表征尿路结石的成分<sup>[18]</sup>;经过三维形变空间上配准 34 例患者共 469 枚肾结石的 140 kVp/80 kVp 图像后,它可以准确地鉴别尿酸性与非尿酸性肾结石<sup>[19]</sup>。

本试验仅为比较研究,尚具有下列局限性。(1)研究标本量较小。(2)容积扫描模式运动校正算法体配准后的结直肠双能融合图像质量 1 级为 96.7%,没有达到临床应用需要的 100.0%。(3)没有与其他厂商单源序列采集容积扫描双能 CT 结肠成像进行比

较。(4)没有与单源瞬时管电压切换型、单源双光束型和双源型双能 CT 结肠成像进行比较。上述局限性需要在未来的研究工作中进一步完善。

综上所述,与螺旋扫描模式相比较,单源序列采集双能 CT 结肠成像容积扫描模式不仅扫描时间短、辐射剂量低,而且运动校正算法体配准后的结直肠双能融合图像质量好,单源序列采集双能 CT 结肠成像容积扫描模式优于螺旋扫描模式。

## 参考文献

- [1] 刘静红,刘爱连,田士峰,等.单源双能 CT 成像虚拟平扫在肾细胞癌中应用的可行性分析[J].中华医学杂志,2015,95(41):3333-3336.
- [2] HYODO T, YADA N, HORI M, et al. Multimaterial decomposition algorithm for the quantification of liver fat content by using Fast-Kilovolt-Peak switching Dual-Energy CT: clinical evaluation[J]. *Radiology*, 2017, 283(1): 108-118.
- [3] HYODO T, HORI M, LAMB P, et al. Multimaterial decomposition algorithm for the quantification of liver fat content by using Fast-Kilovolt-Peak switching Dual-Energy CT: experimental validation[J]. *Radiology*, 2017, 282(2):381-389.
- [4] DIEKHOF T, SCHEEL M, HERMANN S, et al. Osteitis: a retrospective feasibility study comparing single-source dual-energy CT to MRI in selected patients with suspected acute gout[J]. *Skeletal Radiol*, 2017, 46(2): 185-190.
- [5] MCCOLLOUGH C H, LENG S A, YU L F, et al. Dual and multi-energy CT: principles, technical approaches, and clinical applications[J]. *Radiology*, 2015, 276(3): 637-653.
- [6] KAEMMERER N, BRAND M, HAMMON M, et al. Dual-energy computed tomography angiography of the head and neck with single-source computed tomography: a new technical (split filter) approach for bone removal[J]. *Invest Radiol*, 2016, 51(10):618-623.
- [7] IBRAHIM E S, CERNIGLIARO J G, POOLEY R A, et al. Motion artifacts in kidney stone imaging using single-source and dual-source dual-energy CT scanners: a phantom study[J]. *Abdom Imaging*, 2015, 40(8):3161-3167.
- [8] MARIN D, BOLL D T, MILETO A, et al. State of the art: dual-energy CT of the abdomen[J]. *Radiology*, 2014, 271(2):327-342.
- [9] JOHNSON T R. Dual-Energy CT: general principles[J]. *Am J Roentgenol*, 2012, 199(5 suppl):S3-8.
- [10] FORCE U T, BIBBINS-DOMINGO K, GROSSMAN D C, et al. Screening for colorectal cancer: US preventive services task force recommendation statement[J]. *JAMA*, 2016, 315(23): 2564-2575.
- [11] LIN J S, PIPER M A, PERDUE L A, et al. Screening for colorectal cancer: updated evidence report and systematic review for the US preventive services task force[J]. *JAMA*, 2016, 315(23):2576-2594.
- [12] ELOJEIMY S, TIPNIS S, HUDA W. Relationship between radiographic techniques (kilovolt and milliampere-second) and CTDI(VOL)[J]. *Radiat Prot Dosimetry*, 2010, 141(1): 43-49.
- [13] KIEFER T, DIEKHOF T, HERMANN S, et al. Single source dual-energy computed tomography in the diagnosis of gout: diagnostic reliability in comparison to digital radiography and conventional computed tomography of the feet[J]. *Eur J Radiol*, 2016, 85(10):1829-1834.
- [14] DIEKHOF T, ZIEGELER K, FEIST E, et al. First experience with single-source dual-energy computed tomography in six patients with acute arthralgia: a feasibility experiment using joint aspiration as a reference[J]. *Skeletal Radiol*, 2015, 44(11):1573-1577.
- [15] DIEKHOF T, KIEFER T, STROUX A, et al. Detection and characterization of crystal suspensions using single-source dual-energy computed tomography: a phantom model of crystal arthropathies[J]. *Invest Radiol*, 2015, 50(4):255-260.
- [16] FUCHS M, PUTZIER M, PUMBERGER M, et al. Acute vertebral fracture after spinal fusion: a case report illustrating the added value of single-source dual-energy computed tomography to magnetic resonance imaging in a patient with spinal instrumentation[J]. *Skeletal Radiol*, 2016, 45(9):1303-1306.
- [17] DIEKHOF T, HERMANN K G, PUMBERGER M, et al. Dual-energy CT virtual non-calcium technique for detection of bone marrow edema in patients with vertebral fractures: a prospective feasibility study on a single-source volume CT scanner[J]. *Eur J Radiol*, 2017(87): 59-65.
- [18] MORSBACH F, WURNIG M C, MOLLER D, et al. Feasibility of single-source dual-energy computed tomography for urinary stone characterization and value of iterative reconstructions[J]. *Invest Radiol*, 2014, 49(3): 125-130.
- [19] LENG S A, SHIUNG M, AI S T, et al. Feasibility of discriminating uric acid from non-uric acid renal stones using consecutive spatially registered low- and high-energy scans obtained on a conventional CT scanner[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2015, 204(1):92-97.